

PROCENA STANJA I REVITALIZACIJA VETRENJAČE U MELENCIMA

ASSESSMENT AND REVITALIZATION OF WINDMILL IN MELENCI

Sonja Stikić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Teorijski deo rada bavi se primenom uređaja na bazi savremenih pametnih legura i mogućnostima njihove primene u seizmičkoj zaštiti konstrukcija. Stručni deo obuhvata procenu stanja, kontrolni proračun i predlog sanacionih metoda za zidanu vetrenjaču. Cilj rada jeste revitalizacija spomenika kulture od velikog značaja sa prenamenom u muzejski prostor.

Ključne reči: procena stanja, oštećenja, vetrenjača, zidane konstrukcije, memorijske legure

Abstract – The theoretical part of this paper represents shape memory alloy devices and possibilities of their application in seismic protection of structures. The expert part includes the assessment of the windmill structure, static and dynamic calculation and proposal of the repair methods and steps. The aim of this paper is revitalization and conversion of the cultural monument into the museum space.

Keywords: assessment, damages, windmill, masonry structure, shape memory alloy

1. UVOD

Svaka procena stanja i sanacija objekata započinje sa dva pitanja: zašto i kako. Pitanjem zašto otkriva se uzrok defekta i oštećenja, a pitanjem kako definišu se metode sanacije. Kod objekata kulturne baštine neophodno je usaglasiti stroge konzervatorske uslove i savremene propise za nosivost i stabilnost konstrukcija. Intervencije na ovakvim objektima podrazumevaju zahvate koji se odnose na promenu ili poboljšanje noseće strukture objekta koja je ili pred kolapsom ili prvobitnim rešenjem, s obzirom na način gradnje, nije osposobljena da se suprotstavi incidentnim dejstvima. Zahvati se uglavnom svode na ojačanje konstrukcije ili redukciju seizmičkog dejstva kroz disipaciju energije. Na primeru vetrenjače prikazana je sanacija tradicionalnim metodama.

Kada se tradicionalne tehnike pokazuju kao neadekvatne ili nedovoljne, zaštita spomenika kulture može se postići i upotrebom modernih tehnika za konzervaciju uz primenu savremenih materijala. U seizmičkoj zaštiti objekata kulturne baštine, poslednjih petnaestak godina u svetu, koriste se pametni materijali u vidu legiranih uređaja, poznatih pod nazivom "Shape memory alloy devices" [1].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bila dr Mirjana Malešev, red. prof.

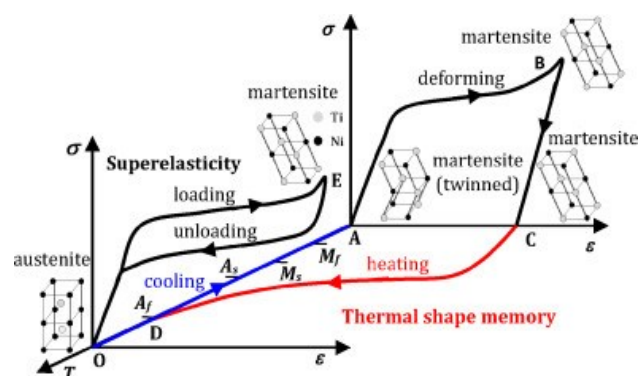
2. PRIMENA MEMORIJSKIH LEGURA U OBLASTI SEIZMIČKE ZAŠTITE

2.1. Osnovna svojstva memorijskih legura

Osnovne razlike između memorijskih legura i ostalih materijala jesu efekat pamćenja oblika i efekat superelastičnosti (slika 1), nastali kao posledica promene kristalografske strukture kroz fazne transformacije. Za ova svojstva zadužena je martenzitna faza, koja je slaba i lako se deformiše, za razliku od austenitne koja ima samo jednu formu i teži da postane čvršća i jača [2].

U zavisnosti od stanja kristalne strukture, memorijske legure mogu povratiti zaostale plastične deformacije ako se posle rasterećenja izlažu procesu zagrevanja, ili se mogu vratiti na prvobitni nedeformisani oblik tokom ciklusa opterećenja i rasterećenja, iako su prethodno doživele velike nelinearne deformacije [2].

Pri faznim transformacijama formiraju se histerezisne petlje koje predstavljaju kapacitet prigušenja ili mogućnost disipacije energije. Ova pojava je iskorišćena pri konstruisanju različitih tipova uređaja za aktivnu i pasivnu aseizmičku zaštitu čeličnih, betonskih i zidanih konstrukcija. Legura koja se pokazala kao najpogodnija za primenu jeste legura nikla i titanijuma Ni-Ti - nitinol.



Slika 1. Radni dijagram memorijskih legura [3]

2.2. Uređaji na bazi memorijskih legura za kontrolu ponašanja konstrukcije

Uređaji na bazi memorijskih legura dopuštaju kontrolisana relativna pomeranja, ograničavajući sile i prenos ubrzanja i inicirajući disipaciju energije. Ono što ovde zavređuje pažnju jeste činjenica da, za različite slučajeve opterećenja, ovi uređaji imaju i različite odgovore, tako što menjaju krutost konstrukciji i ne dozvoljavaju pojavu makro prslina, prevelikih pomeranja i nestabilnosti.

Cilj ovih uređaja jeste zamena tradicionalnih krutih veza kojima su se povezivali zidovi i međuspratne tavanice ili krovna konstrukcija i smanjenje rizika od kolapsa zidova van njihovih ravni.

Ponašanje konstrukcija prilikom delovanja dinamičkog opterećenja može se kontrolisati preko pasivnih, aktivnih i poluaktivnih sistema. Pasivne sisteme odlikuju disipacija energije i svojstvo samocentrisanja. Primenjuju se u vidu izolatora, konektora i ojačanja izrađenih od opruga, šipki, žica, hibridnih uređaja i veza od memorijskih legura. Aktivni sistemi koriste svojstvo pamćenja oblika memorijskih legura. Samooporavak konstrukcije uz upotrebu memorijskih legura je primer ovakve kontrole ponašanja. Poluaktivni sistemi kombinuju oba sistema.

2.3. Seizmička zaštita kulturnog nasleđa primenom memorijskih legura

Spomenici kulture uglavnom spadaju u masivne, zidane konstrukcije. Zbog svoje mase one iniciraju velike seizmičke sile, a kako su po svojoj prirodi krute, u nedostatku duktilnosti obično stradaju od dinamičkog dejstva. Tipičan primer kolapsa zidova jeste rušenje zidova van njihove ravni.

Nove tehnike sanacije zidanih konstrukcija razvijene su sa ciljem da nadomeste nedostatak tradicionalnih tehnika koje se baziraju na ukrućenjima. U tu svrhu iskoršćen je efekat superelastičnosti memorijskih legura. Cilj jeste povezivanje svih zidova, pogotovo upravnih, sa podom ili krovom, preko pametnih uređaja i ostvarivanje sledećeg ponašanja:

- za horizontalna dejstva malog intenziteta uređaji ostaju kruti, nedozvoljavajući ikakva pomeranja,
- za horizontalna dejstva jačeg intenziteta krutost uređaja se smanjuje, omogućavajući kontrolisana pomeranja koja bi trebala da smanje ubrzanje, formirajući manje prsline i pukotine,
- za izuzetna opterećenja, krutost uređaja se povećava i sprečava pojavu nestabilnosti kod konstrukcije.

Ideja primene pametnih uređaja jeste dispacija unete energije, preko histerezisne petelje. Ipak, za konstruisanje ovakvih uređaja neophodno je definisati granicu kontrolisanog pomeranja kod zidanih konstrukcija. Veće pomeranje trošilo bi i veću energiju, međutim isto tako bi nanelo i velika oštećenja konstrukcije. Takođe, potrebno je definisati i intenzitet opterećenja za koje dolazi do redukcije krutosti. Na ovoj ideji konstruisani su razni uređaji za smanjenje uticaja zemljotresa [4].

Pametni uređaji se mogu primeniti i za povećanje otpornosti zidova u svojoj ravni. Tradicionalne metode za povećanje savojne i smičuće otpornosti jeste sprezanje zidova sa čeličnim elementima. Ovi uređaji bi mogli da ograniče nivo naprezanja u zidovima, dispirajući energiju preko histerezisne petlje, čak i kod velikih deformacija. Kod izuzetno jakih zemljotresa, ovi uređaji bi mogli da smanje štetu i da povećaju stabilnost zidova.

Zaštita kulturno istorijskih spomenika stavlja jedan bitan zahtev za buduće intervencije, a to je reverzibilnost. Svi uređaji na bazi memorijskih legura ispunjavaju ovaj zahtev, tako da se ohrabruje ovakav vid zaštitite seizmičkih konstrukcija.

3. PROCENA STANJA VETRENJAČE

3.1 Osnovni podaci o objektu

Vetrenjača se nalazi u Melencima, opština Zrenjanin (slika 2). Podignuta je 1899. godine. Spada u kategoriju mlinova i predstavlja redak primer iz oblasti objekata narodne tehnike. Kategorisan je kao spomenik kulture od velikog značaja.



Slika 2: Izgled vetrenjače u Melencima

Vetrenjača je zidana u obliku zarubljene kupe. U osnovi je kružnog oblika prečnika 10,0 m. Sastoji se iz četiri nivoa: prizemlja, dva sprata i tavana. Objekat nije u funkciji zbog prokišnjanja i oštećenja koja ugrožavaju njegovu nosivost i stabilnost, a koji su posledica neodržavanja i propusta tokom prethodne sanacije.

3.1 Konstruktivni sistem

Konstruktivni sistem je masivni sa dvoslojnim zidovima. Spoljni sloj zidan je od opeke starog formata dimenzija 30/15/7 cm, a unutrašnji od ćerpiča oblepljog blatnim malterom. Debljina dvoslojnog zida kreće se od 90 cm do 60 cm. Noseći zid od opeke debljine 60-45-30 cm se sukcesivno smanjuje po visini. Međuspratne konstrukcije su izrađene u vidu 3 platforme od drvene građe sa naizmenično postavljanim gredama. Grede prve platforme se oslanjaju na spoljne zidove i unutrašnje stubove od drveta, dimenzija 25/20 cm. Grede ostalih platformi, dimenzija 12/20 cm, oslanjaju se na spoljašnji zid od opeke. Rastojanja između tavanjača kreću se od 60 do 100 cm. Temelji su trakasti, od opeke, na dubini od 60 cm. Krovna konstrukcija, nagiba 40°, sastoji se od drvenih rogova i daščane oplata preko kojih je postavljen krovni pokrivač od drvene šindre. Drveni mehanizam vetrenjače je delimično sačuvan dok krila više ne postoje.

3.2 Vizuelni pregled

Izlaskom na teren izvršen je detaljan pregled svih dostupnih konstruktivnih elemenata, sa merenjem, fotografisanjem i mapiranjem na tehničkim podlogama [5].

Detektovana su oštećenja na svim spoljašnjim zidovima, koja su najintenzivnija na severnoj i istočnoj strani. Ova oštećenja nastala su kao posledica delovanja atmosferilija, porozne strukture materijala, dejstva mraza i vetra, hemijskog i mehaničkog delovanja biodeterioracije i, u nešto manjoj meri, kristalizacije i eflorescencije. Manifestuju se u vidu degradacije površina opeke i spojnica, njihovom erozijom, gubljenjem adhezije, odvaljivanju, ispadanju, promeni boje, pojavi mrlja i prslina.

Na površini prisutne su mahom vertikalne prsline i pukotine koje se uglavnom prostiru kroz spojnice. Njihovom brzom širenju pogoduju slogovi koji nisu prekinuti jedan u odnosu na drugi. Uzroci ovih pukotina ne mogu se odvojeno klasifikovati. Oni predstavljaju simbiozu spoljašnjih uticaja, diferencijalnih sleganja, rada konstrukcije usled promena temperature i nivoa vlage u materijalu. Kako je objekat kružnog oblika, pod ovim uticajima on se deformiše, a kada je deformacija sprečena dolazi do pucanja u najslabijoj tački, kao što je pukotina na istočnoj strani zida (slika 3).



Slika 3: Vertikalna pukotina duž čitavog zida

Unutrašnja površina zidova je potpuno devastirana u vidu obrušavanja sloja od ćerpića (slika 4). Posledica ovog obrušavanja jeste vlaženje ćerpića i povećanje njegove težine. Kod zidova pod nagibom, ukoliko sile nisu prihvaćene adekvatnom vezom između slojeva, doći će do obrušavanja usled smicanja. Prisutnost vlage u zidovima uočava se po izbočavanju blatnog maltera, njegovom ljuspanju, otpadanju i trošnosti materijala.



Slika 4: Oštećenja u unutrašnjosti vetrenjače

Procentualnom analizom oštećenja utvrđeno je da je glavni uzrok devastacije objekta vlaga. Poreklo vlage je atmosferske prirode. Kako je inicijalni krov, zbog okretanja krila, projektovan da ne pokriva celokupni objekat u osnovi i kako nisu predviđene instalacije za kišnicu, dolazi do slivanja atmosferskih padavina po obimu zida i njihovog konstatnog vlaženja tokom određenih perioda.

Ovo se uočava preko mrlja oker boje na spoljašnjim površinama zidova, koje se poklapaju sa urušenim površinama zidova od ćerpića (slika 5). Pojavi vlage u

unutrašnjosti i daljem natapanju zidova, doprinosi i prodor atmosferilija kroz otvore na kojima ne postoji stolarija ni staklo.



Slika 5: Oštećenja usled vlage od atmosferskih padavina

Pregledom i analizom drvene međuspratne konstrukcije utvrđeno je da je drvena građa dotrajala, što je i očekivano s obzirom na starost objekta i predviđen vek trajanja. Ozbiljni ugibi i pukotine pojavili su se na sredini raspona međuspratnih greda i ukazuju na gubitak nosivosti i prevelike deformacije elementa (slika 6).



Slika 6: Pukotine na sredini tavanjače

Ozbiljna oštećenja primećena su i na mestima oslanjanja drvenih elemenata na zidove gde je došlo do potpunog gubitka veze ili smanjenja preseka usled truljenja. Primećeni su defekti drvene građe u vidu brojnih pukotina, kvrgavosti, zakošenosti vlakana, kao i defekti po pitanju upotrebe građe određenih dimenzija koja nije u potpunosti adekvatna s obzirom na raspone. Zaštita od vlage u vidu premeza ne postoji ili nije efikasna. Kao direktna posledica, usled promene vlažnosti, dejstva atmosferilija, ljudskog nemara i u manjoj meri delovanja bioloških organizama, došlo je do ozbiljne deterioracije građe [6].

3.3 Laboratorijska ispitivanja

Ispitivanje opeke je izvršeno na osam uzoraka. Proverena je ispunjenost tehničkih uslova za mere, oblik i izgled elemenata, marku opeke, upijanje vode i dejstvo soli. Opeke su marke M100, nazivne zapremne mase 1200 kg/m³. Prosečna masa opeke iznosi 4454 g, dok prosečno upijanje vode iznosi 24,1%. Konstatovano je prisustvo male koncentracije soli. Na osnovu dobijenih rezultata konstatovano je da su fizičke, mehaničke i hemijske karakteristike u granicama propisanim standardom, dok geometrijske karakteristike odstupaju od standarda, što je i očekivano s obzirom na starost i način izrade opeke.

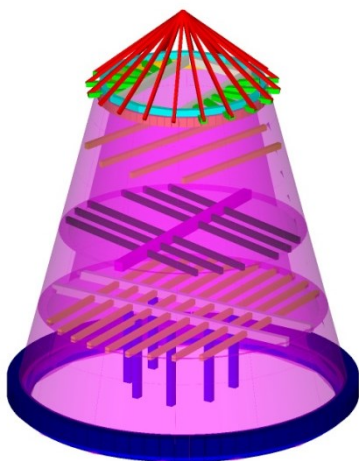
3.4 Preliminarni zaključak procene stanja

Unutrašnji zid od čerpiča procenjen je kao veoma ugrožen po pitanju nosivosti i potpuno ugrožen po pitanju stabilnosti, trajnosti i funkcionalnosti. Spoljašni zid od opeke ne pokazuje znakove narušavanja stabilnosti, ali mu je nosivost smanjena u manjoj meri usled postojanja pukotina.

Funkcionalnost spoljašnjeg zida je zadovoljavajuća, ali je trajnost smanjena. Drvena konstrukcija međuspratnih tavanica je u potpunosti devastirana i ne zadovoljava ni po jednom kriterijumu procene. Njena nosivost i stabilnost su u kritičnom stanju tako da je drvena konstrukcija procenjena kao potpuno ugrožena i nebezbedna.

4. KONTROLNI PRORAČUN

Modeliranje konstrukcije izvršeno je u programskom paketu Tower 7.0 (slika 7). Analiza opterećenja izvršena je po pravilnicima Evrokod 1 i Evrokod 8. Posmatrane su kombinacije stalnog, korisnog, opterećenja od snega, vetra i seizmičkog dejstva. Proračun je izvršen prema linearnoj teoriji I reda.



Slika 7: Proračunski model konstrukcije

Proračunske kontrole obuhvataju proveru napona u elementima i tlu, kao i ukupno pomerjenje vrha objekta. Na osnovu proračunskih kontrola, dat je predlog sanacionih mera, sa ciljem revitalizacije vetrenjače i vraćanja u radnu funkciju.

5. PREDLOG SANACIONIH MERA

Sanacioni radovi odvijaju se po fazama. Radovi I faze spadaju u grupu pripremnih radova. Konstrukcijska sanacija objekta predviđena je II fazom. U III fazi predviđeni su fini završni radovi, postavljanje instalacija i zaštita elemenata u cilju produžavanja životnog veka objekta. Faza IV obuhvata vraćanje vetrenjače u funkciju postavljanjem restauriranog mehanizma.

Konstrukcijski radovi podrazumevaju:

- ojačanje temeljne konstrukcije
- sanaciju prslina i pukotina u zidovima od opeke metodama injektiranja, "ušivanja" i zapunjavanja
- preziđivanje pojedinih delova nosećeg zida od opeke
- sanacija trošnih malterskih spojnica

- ojačavanje nosećih zidova "structural repointing" metodom
- radovi na krovnoj konstrukciji sa ciljem vraćanja u prvobitnu funkciju koji podrazumevaju izradu kliznog venca
- sanaciju prslina i pukotina drvenih elemenata metodom zapunjavanja i utezanja preseka po potrebi
- sanaciju međuspratne konstrukcije ojačavanjem i zamenom elemenata
- sanaciju i zidanje zida od čerpiča
- postavljanje prepleta za vezu između sloja zida od opeke i od čerpiča

6. ZAKLJUČAK

Kod objekata kulturnog nasleđa izrada projekata sanacije i revitalizacije predstavlja određen podvig jer je neophodno pomiriti nove propise i konzervatorske zahteve i vratiti objekat uz minimalne i reverzibilne intervencije u kompletnu funkciju. Za izradu ovakvih projekata neophodno je insistirati na multidisciplinarnom pristupu i interakciji raznih struka, kako bi se prikupilo što više relevantnih informacija, s obzirom da se radi o objektima građenim u većini slučajeva tradicionalnim empirijskim metodama. Glavni inženjerski zadatak, jeste odvesti najkraćim putem sile do temelja, i vodu od objekta. Nakon rešavanja uzroka oštećenja može se pristupiti i njihovoj sanaciji. Ipak, ono što je neophodno jeste zaštita i redovno održavanje ovakvih objekata, kojima je ipak najgori neprijatelj čovek i njegov nemar.

7. LITERATURA

- [1] Čaušević A., Rustempašić N., "Rekonstrukcija zidanih objekata visokogradnje", Univerzitet u Sarajevu, arhitektonski fakultet, Sarajevo, 2014.
- [2] K.Todorov, S.P.Oncevska, "Novi poligonalni histerezisni model za simuliranje efekta superelastičnosti figura sa svojstvom pamćenja oblika", *Originalni naučni rad*, Vol. AC-22, pp. 210-222, April 1977.
- [3] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/> (pristupljeno u oktobru 2018.)
- [4] http://www.researchgate.net/publication/259900824_Seismic_Protection_of_Cultural_Heritage_Using_Shape_Memory_Alloy_Devices_An_EC_Funded_Project_ISTECH (pristupljeno u oktobru 2018.)
- [5] Malešev M., Radonjanin V., "Oštećenja i sanacija zidanih konstrukcija, Materijal sa predavanja, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad
- [6] Mišulić K.T.: "Oštećenja i sanacija drvenih konstrukcija", Materijal sa predavanja, Novi Sad, 2016.

Kratka biografija:



Sonja Stikić rođena je u Novom Sadu 1988. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije odbranila je 2018. god. kontakt: sonja.stikic@gmail.com